

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6880171号
(P6880171)

(45) 発行日 令和3年6月2日 (2021. 6. 2)

(24) 登録日 令和3年5月7日 (2021. 5. 7)

(51) Int. Cl.	F I
B 6 3 B 43/20 (2006. 01)	B 6 3 B 43/20
B 6 3 B 43/00 (2006. 01)	B 6 3 B 43/00 Z
B 6 3 B 49/00 (2006. 01)	B 6 3 B 49/00 Z
G O 1 S 19/54 (2010. 01)	G O 1 S 19/54

請求項の数 18 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2019-502928 (P2019-502928)	(73) 特許権者 000166247 古野電気株式会社 兵庫県西宮市芦原町9番52号
(86) (22) 出願日 平成30年2月22日 (2018. 2. 22)	
(86) 国際出願番号 PCT/JP2018/006432	(74) 代理人 110000970 特許業務法人 楓国際特許事務所
(87) 国際公開番号 W02018/159440	
(87) 国際公開日 平成30年9月7日 (2018. 9. 7)	(72) 発明者 中村 拓 兵庫県西宮市芦原町9番52号 古野電気株式会社内
審査請求日 令和1年9月4日 (2019. 9. 4)	
(31) 優先権主張番号 特願2017-39964 (P2017-39964)	(72) 発明者 戸田 裕行 兵庫県西宮市芦原町9番52号 古野電気株式会社内
(32) 優先日 平成29年3月3日 (2017. 3. 3)	
(33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国 (JP)	(72) 発明者 藤澤 奈緒美 兵庫県西宮市芦原町9番52号 古野電気株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 船体負荷観測装置、船体負荷観測方法、および、船体負荷観測プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

船体の加速度を計測する加速度計測部と、
前記船体の姿勢を計測する姿勢計測部と、
前記加速度をフィルタ処理することで、前記船体の負荷の要因となる現象によって生じる負荷観測用加速度を前記加速度から抽出し、
前記姿勢の周波数ピーク検出を行うことで、前記現象によって生じる負荷観測用姿勢を前記姿勢から抽出する抽出部と、
前記負荷観測用加速度と前記負荷観測用姿勢とを用いて、前記負荷を算出する負荷算出部と、
を備える、
船体負荷観測装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の船体負荷観測装置であって、
前記負荷算出部は、
前記負荷観測用加速度と前記負荷観測用姿勢とを用いて、前記船体の特定箇所の負荷を算出する、
船体負荷観測装置。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の船体負荷観測装置であって、

前記負荷算出部は、

前記負荷観測用加速度と前記負荷観測用姿勢とから負荷指標値を算出し、該負荷指標値の積算値を用いて前記負荷を算出する、

船体負荷観測装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の船体負荷観測装置であって、

前記抽出部は、

前記現象が生じたタイミング、当該タイミングより前、および、当該タイミングより後、のいずれかを含む 2 以上のタイミングにおける前記負荷観測用加速度と前記負荷観測用姿勢とを抽出し、

10

前記負荷算出部は、前記 2 以上のタイミングにおける、前記負荷観測用加速度の変化量または変化速度と、前記負荷観測用姿勢の変化量または変化速度と、のうち、少なくとも一方を用いて、前記負荷指標値を算出する、

船体負荷観測装置。

【請求項 5】

請求項 3 または請求項 4 に記載の船体負荷観測装置であって、

前記負荷算出部は、

前記負荷指標値が閾値を超えた場合、この負荷指標値を前記積算値に加算する、

船体負荷観測装置。

【請求項 6】

20

請求項 3 乃至請求項 5 のいずれかに記載の船体負荷観測装置であって、

前記負荷算出部は、

前記負荷観測用姿勢と前記負荷観測用加速度とを用いて、前記船体の姿勢と該姿勢の船体に加わる加速度の方向および強度とを算出し、

前記船体の姿勢と該姿勢の船体に加わる加速度の方向および強度とを用いて前記負荷指標値を算出する、

船体負荷観測装置。

【請求項 7】

請求項 1 乃至請求項 6 のいずれかに記載の船体負荷観測装置であって、

前記加速度計測部と前記姿勢計測部とは、運動状態計測部によって構成され、

30

前記運動状態計測部は、

前記船体に設置され、測位信号を受信するアンテナと、

前記アンテナで受信した前記測位信号の搬送波位相を用いて、少なくとも前記姿勢を算出する姿勢計測部と、

前記船体に設置され、少なくとも前記加速度を計測する慣性センサと、

を備える、

船体負荷観測装置。

【請求項 8】

請求項 1 乃至請求項 6 のいずれかに記載の船体負荷観測装置であって、

前記加速度計測部および前記姿勢計測部は、前記船体の複数箇所に配置されており、

40

前記負荷算出部は、

前記船体の複数箇所毎に前記負荷を算出する、

船体負荷観測装置。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の船体負荷観測装置であって、

前記負荷算出部は、

複数の前記加速度計測部または複数の前記姿勢計測部の計測時刻を同期させ、

前記負荷を算出する、

船体負荷観測装置。

【請求項 10】

50

請求項 9 に記載の船体負荷観測装置であって、
同じ位置に配置された前記加速度計測部と前記姿勢計測部とを、運動状態計測部によって構成することによって、複数の運動状態計測部が前記船体に配置され、
前記複数の運動状態計測部は、
前記船体に設置され、測位信号を受信するアンテナと、
前記アンテナで受信した前記測位信号の搬送波位相を用いて、少なくとも前記姿勢を算出する姿勢計測部と、
前記船体に設置され、少なくとも前記加速度を計測する慣性センサと、
をそれぞれに備え、
前記複数の運動状態計測部は、
前記測位信号を用いて前記同期を行う、
船体負荷観測装置。

10

【請求項 1 1】

請求項 8 乃至請求項 1 0 のいずれかに記載の船体負荷観測装置であって、
前記加速度を用いて、前記現象の到来方向を推定する到来方向推定部を備える、
船体負荷観測装置。

【請求項 1 2】

請求項 8 乃至請求項 1 1 のいずれかに記載の船体負荷観測装置であって、
前記姿勢を用いて、前記現象の伝搬方向を推定する伝搬方向推定部を備える、
船体負荷観測装置。

20

【請求項 1 3】

請求項 1 乃至請求項 1 2 のいずれかに記載の船体負荷観測装置であって、
前記加速度の変化量または変化速度が加速度用閾値を超えるタイミング、または、前記
姿勢の変化量または変化速度が姿勢用閾値を超えるタイミングを、前記船体の負荷の要因
となる現象の発生タイミングとして検出する検出部を備える、
船体負荷観測装置。

【請求項 1 4】

請求項 1 乃至請求項 1 3 のいずれかに記載の船体負荷観測装置であって、
前記現象は、前記船体のスラミングまたはホイッピングである、
船体負荷観測装置。

30

【請求項 1 5】

船体の加速度を計測し、
前記船体の姿勢を計測し、
前記加速度をフィルタ処理することで、前記船体の負荷の要因となる現象によって生じ
る負荷観測用加速度を前記加速度から抽出し、
前記姿勢の周波数ピーク検出を行うことで、前記現象によって生じる負荷観測用姿勢を
前記姿勢から抽出し、
前記負荷観測用加速度と前記負荷観測用姿勢とを用いて、前記負荷を算出する、
船体負荷観測方法。

【請求項 1 6】

請求項 1 5 に記載の船体負荷観測方法であって、
前記加速度の変化量または変化速度が加速度用閾値を超えるタイミング、または、前記
姿勢の変化量または変化速度が姿勢用閾値を超えるタイミングを、前記船体の負荷の要因
となる現象の発生タイミングとして検出する、
船体負荷観測方法。

40

【請求項 1 7】

船体の加速度を計測し、
前記船体の姿勢を計測し、
前記加速度をフィルタ処理することで、前記船体の負荷の要因となる現象によって生じ
る負荷観測用加速度を前記加速度から抽出し、

50

前記姿勢の周波数ピーク検出を行うことで、前記現象によって生じる負荷観測用姿勢を前記姿勢から抽出し、

前記負荷観測用加速度と前記負荷観測用姿勢とを用いて、前記負荷を算出する、
処理を演算処理装置に実行させる船体負荷観測プログラム。

【請求項 18】

請求項 17 に記載の船体負荷観測プログラムであって、

前記加速度の変化量または変化速度が加速度用閾値を超えるタイミング、または、前記姿勢の変化量または変化速度が姿勢用閾値を超えるタイミングを、前記船体の負荷の要因となる現象の発生タイミングとして検出する、

処理を演算処理装置に実行させる船体負荷観測プログラム。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波浪等によって船体に係る負荷を観測する船体負荷観測装置、船体負荷観測方法、および、船体負荷観測プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

大型商船等の船舶においては、航海によって受ける船体負荷が問題となっている。例えば、船体負荷の発生要因としては、スラミングおよびホイッピング等がある。スラミングは、波浪が船体に衝突する時に生じる衝撃であり、ホイッピングは、スラミングに起因する船体の振動である。

20

【0003】

船体負荷の蓄積は、安全航海および操船等に影響を及ぼす程の船体の特性変化や、船体損傷に繋がる可能性がある。

【0004】

このため、従来、船体負荷を観測するシステムが各種考案されている。例えば、非特許文献 1 には、光ファイバ等と高精度センサとを用いた船体負荷モニタリングシステムが記載されている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

30

【0005】

【非特許文献 1】 インターネット、<http://dspace.dsto.defence.gov.au/dspace/bitstream/desto/10246/1/DSTO-TR-2818%20PR.pdf>

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、非特許文献 1 に記載の構成では、大規模な設置工事が必要となり、且つ、簡素な構成によって、船体負荷を観測することができない。

【0007】

したがって、本発明の目的は、簡素な構成によって船体負荷を観測できる船体負荷観測装置、船体負荷観測方法、および、船体負荷観測プログラムを提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0008】

この発明の船体負荷観測装置は、加速度計測部、姿勢計測部、抽出部、および、負荷算出部を備える。加速度計測部は、船体の加速度を計測する。姿勢計測部は、船体の姿勢を計測する。抽出部は、船体の負荷の要因となる現象によって生じる負荷観測用加速度を加速度から抽出し、この現象によって生じる負荷観測用姿勢を姿勢から抽出する。負荷算出部は、負荷観測用加速度と負荷観測用姿勢とを用いて、負荷を算出する。

【0009】

この構成では、加速度計測部および姿勢計測部が複雑な構造でなく、これらに接続され

50

る抽出部、および、負荷算出部が、一般的なCPU等の演算処理装置によって実現可能である。

【発明の効果】

【0010】

この発明によれば、簡素な構成によって船体負荷を観測できる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る船体負荷観測装置のブロック図である。

【図2】本発明の第1の実施形態に係る運動状態計測部を実現する1つの構成例を示すブロック図である。

10

【図3】(A)は、本発明の第1の実施形態に係る船体負荷観測装置が装備される船舶の平面図であり、(B)は、本発明の第1の実施形態に係る船体負荷観測装置が装備される船舶の側面図である。

【図4】本発明の第1の実施形態に係る船体負荷観測装置で実行されるメインフローのフローチャートである。

【図5】第1の負荷算出処理のフローチャートである。

【図6】第2の負荷算出処理のフローチャートである。

【図7】スラミングを観測するフローのフローチャートである。

【図8】(A)は、ホイッピングの推定の概略フローチャートであり、(B)は、ホイッピングの推定の詳細フローチャートである。

20

【図9】スラミングによる船体姿勢変化を、角速度を用いて算出するフローチャートである。

【図10】本発明の第2の実施形態に係る船体負荷観測装置のブロック図である。

【図11】(A)は、本発明の第2の実施形態に係る船体負荷観測装置が装備される船舶の平面図であり、(B)は、本発明の第2の実施形態に係る船体負荷観測装置が装備される船舶の側面図である。

【図12】スラミングの起因となる波の到来方向を推定するフローチャートである。

【図13】ホイッピング伝搬特性を推定するフローチャートである。

【図14】本発明の実施形態に係る船体負荷観測装置が適用される航行支援システムのブロック図である。

30

【発明を実施するための形態】

【0012】

本発明の第1の実施形態に係る船体負荷観測装置について、図を参照して説明する。図1は、本発明の第1の実施形態に係る船体負荷観測装置のブロック図である。図2は、本発明の第1の実施形態に係る運動状態計測部を実現する1つの構成例を示すブロック図である。図3(A)は、本発明の第1の実施形態に係る船体負荷観測装置が装備される船舶の平面図である。図3(B)は、本発明の第1の実施形態に係る船体負荷観測装置が装備される船舶の側面図である。

【0013】

図1に示すように、船体負荷観測装置10は、運動状態計測部20、抽出部30、および、負荷算出部40を備える。抽出部30と負荷算出部40とは、データ処理部50を構成している。データ処理部50は、CPU等の演算処理を実行するハードウェアと、抽出部30の処理および負荷算出部40の処理を演算処理のハードウェアに実行させるプログラムとによって実現されている。

40

【0014】

運動状態計測部20は、船体100における負荷を算出するのに適した位置に配置されており、例えば、図3(A)、図3(B)の場合であれば、船体100の船首101に配置されている。データ処理部50は、図3(A)、図3(B)に図示していないが、船体100の操舵室110に設置されている。運動状態計測部20とデータ処理部50とは、通信ケーブル、有線LAN、無線LAN等の汎用の通信手段によって接続されている。す

50

なわち、運動状態計測部 20 とデータ処理部 50 とは、汎用で安価な通信手段に接続されている。

【0015】

運動状態計測部 20 は、加速度計測部 21 と姿勢計測部 22 とを備える。加速度計測部 21 は、船体負荷観測装置 10 が装備される船体 100 の加速度を計測する。姿勢計測部 22 は、船体負荷観測装置 10 が装着される船体の姿勢を計測する。加速度計測部 21 は、加速度を抽出部 30 に出力する。姿勢計測部 22 は、姿勢を抽出部 30 に出力する。図 3 (A)、図 3 (B) の場合、加速度計測部 21 は、船首 101 での船体 100 の加速度を計測する。姿勢計測部 22 は、船首 101 での船体 100 の姿勢を計測する。

【0016】

抽出部 30 は、加速度と姿勢を用いて、スラミング、ホイッピング等の船体負荷（以下、単に「負荷」と称する。）の要因となる現象を観測する。

【0017】

抽出部 30 は、この観測結果を用いて、加速度から負荷観測用加速度を抽出する。負荷観測用加速度とは、上述のスラミングまたはホイッピング等の負荷の要因となる現象によって生じる加速度である。言い換えれば、負荷観測用加速度とは、計測された加速度から、通常の航行時に生じる加速度を除いたものである。

【0018】

抽出部 30 は、この観測結果を用いて、姿勢から負荷観測用姿勢を抽出する。負荷観測用姿勢とは、上述のスラミングまたはホイッピング等の負荷の要因となる現象によって生じる姿勢である。言い換えれば、負荷観測用姿勢とは、計測された姿勢から、通常の航行時に生じる姿勢を除いたものである。

【0019】

抽出部 30 は、負荷観測用加速度と負荷観測用姿勢とを、負荷算出部 40 に出力する。

【0020】

負荷算出部 40 は、負荷観測用加速度と負荷観測用姿勢とを用いて、船体 100 に対する負荷を算出する。具体的には、負荷算出部 40 は、負荷観測用加速度と負荷観測用姿勢とから、負荷指標値を算出する。例えば、負荷指標値は、負荷観測用姿勢が所定の姿勢であり、且つ、所定の負荷観測用加速度であると算出され、これら姿勢と加速度に応じた値に算出される。また、負荷指標値は、負荷観測用加速度が大きくなるほど値が大きくなるように算出される。

【0021】

なお、負荷指標値には、負荷観測用加速度の変化量または変化速度を用いてもよく、この場合、負荷指標値は、負荷観測用加速度の変化量または変化速度が大きくなるほど値が大きくなるように算出される。この場合、負荷観測用加速度の変化量または変化速度は、負荷の要因となる現象が生じたタイミングの前後の負荷観測用加速度から算出される。

【0022】

また、負荷指標値には、負荷観測用姿勢の変化量または変化速度を用いてもよく、この場合、負荷指標値は、負荷観測用姿勢の変化量または変化速度が大きくなるほど値が大きくなるように算出される。この場合、負荷観測用姿勢の変化量または変化速度は、負荷の要因となる現象が生じたタイミングの前後の負荷観測用加速度から算出される。

【0023】

負荷算出部 40 は、順次算出された負荷指標値を積算する。負荷算出部 40 はこの積算値を負荷として算出する。この際、負荷算出部 40 は、負荷指標値に指標値用の閾値を設けておき、負荷指標値が指標値用の閾値を超えた場合にのみ、積算してもよい。

【0024】

また、例えば、負荷算出部 40 は、負荷指標値の積算値すなわち負荷を所定の通知用閾値と比較する。負荷算出部 40 は、負荷が通知用閾値を超えた場合に警告等の通知を行う。

【0025】

10

20

30

40

50

このような構成を用いることによって、スラミングまたはホイッピング等によって船体100に与えられた負荷を、簡素な構成で算出できる。また、船体100の負荷が危険なレベルまで達したことを、容易な構成で通知できる。

【0026】

そして、船体負荷観測装置10は、加速度から抽出した負荷観測用加速度と、姿勢から抽出した負荷観測用姿勢を用いることによって、負荷の要因となる加速度と姿勢のみから負荷を算出する。したがって、船体負荷観測装置10は、負荷を高精度に算出できる。

【0027】

なお、上述の説明では、各処理を機能部毎に実行する態様を示したが、上述の機能部の処理をプログラム化して記憶しておき、CPU等の演算処理のハードウェアでこのプログラムを実行してもよい。この場合、次に示すフローに基づいて処理は実行される。図4は、本発明の第1の実施形態に係る負荷観測のメイン処理を示すフローチャートである。

【0028】

図4に示すように、演算処理のハードウェア（以下、演算処理装置）は、船体の加速度と姿勢を取得する（S101）。演算処理装置は、加速度から負荷観測用加速度を抽出し、姿勢から負荷観測用姿勢を抽出する（S102）。演算処理装置は、負荷観測用加速度と負荷観測用姿勢とを用いて、負荷を算出する（S103）。

【0029】

負荷の具体的な算出方法は、例えば図5、図6に示す方法である。図5は、第1の負荷算出処理のフローチャートである。図6は、第2の負荷算出処理のフローチャートである。

【0030】

図5に示す場合、演算処理装置は、負荷観測用加速度と負荷観測用姿勢とから、上述のように負荷指標値を算出する（S111）。演算処理装置は、負荷指標値を積算して、負荷を算出する（S112）。

【0031】

図6に示す場合、演算処理装置は、負荷観測用加速度と負荷観測用姿勢とから、上述のように負荷指標値を算出する（S111）。演算処理装置は、負荷指標値が指標値用の閾値を超えていれば（S113：YES）、当該負荷指標値を積算して、負荷を算出する（S112）。演算処理装置は、負荷指標値が指標値用の閾値を超えていなければ（S113：NO）、当該負荷指標値を、それまでの積算値に加算せず（S114）、負荷を算出する。図6に示す方法を用いる場合には、負荷指標値が小さく、船体100に悪影響（疲弊等）を与えない程度であれば、この場合の負荷指標値を積算しない。これにより、負荷をより高精度に算出できる。

【0032】

次に、運動状態計測部20の具体的な構成の一例について、図2を用いて説明する。

【0033】

運動状態計測部20は、アンテナ201、202、203、受信部204、205、206、慣性センサ207、および、演算部208を備える。アンテナ201は、受信部204に接続されており、アンテナ202は、受信部205に接続されており、アンテナ203は、受信部206に接続されている。受信部204、205、206と慣性センサ207は、演算部208に接続されている。

【0034】

アンテナ201、202、203の配置は、全てが1つの直線上に並ばない配置である。アンテナ201は、測位信号を受信して受信部204に出力する。アンテナ202は、測位信号を受信して受信部205に出力する。アンテナ203は、測位信号を受信して受信部206に出力する。測位信号とは、GNSS衛星等の測位衛星から送信される信号であり、測位衛星毎に固有のコードによって搬送波信号を変調した信号である。搬送波信号には、測位衛星の軌道情報等を含む航法メッセージが重畳されている。アンテナ201、202、203は、これらで共通する少なくとも4個の測位信号を受信していればよい。

【0035】

受信部204は、アンテナ201で受信した測位信号を捕捉追尾し、コード位相および搬送波位相を観測する。受信部205は、アンテナ202で受信した測位信号を捕捉追尾し、コード位相および搬送波位相を観測する。受信部206は、アンテナ203で受信した測位信号を捕捉追尾し、コード位相および搬送波位相を観測する。

【0036】

受信部204、205、206は、予め設定した時間間隔でコード位相および搬送波位相を観測する。受信部204、205、206は、観測した搬送波位相を観測時刻とともに、演算部208に出力する。なお、受信部204、205、206は、コード位相を演算部208に出力してもよく、コード位相から得られたコード擬似距離またはコード擬似距離による測位結果を演算部208に出力してもよい。

10

【0037】

慣性センサ207は、少なくとも加速度センサを備えている。慣性センサ207は、設置箇所における船体座標系の直交三軸の加速度を計測し、演算部208に出力する。

【0038】

演算部208は、搬送波位相を用いて、船体100における運動状態計測部20の設置位置での角速度および姿勢を算出する。より具体的には、演算部208は、各受信部204、205、206の搬送波位相の差（搬送波位相差）を用いて、アンテナ201、202、203に対する基線ベクトルを設定する。演算部208は、観測時刻毎に得られた基線ベクトルの変化から、絶対座標系の直交三軸周りの角速度を算出する。演算部208は、絶対座標系の直交三軸周りの角速度を座標変換して、船体座標系に変換し、船体100の姿勢を算出する。

20

【0039】

演算部208は、慣性センサ207の出力をそのまま用いて、船体100の加速度として出力する。なお、演算部208は、搬送波位相から算出した加速度を用いて、慣性センサ207の出力を補正することで、船体100の加速度を算出してもよい。これにより、加速度の算出精度が向上する。

【0040】

このように、図2に示す構成では、慣性センサ207と演算部208とによって、図1の加速度計測部21が実現される。また、図2に示す構成では、受信部204、205、206と演算部208とによって、図1に示す姿勢計測部22が実現される。これにより、測位演算機能と慣性センサとを一体化した装置という簡素な構成によって、負荷観測用加速度の抽出元になる加速度、および、負荷観測用姿勢の抽出元になる姿勢を計測できる。

30

【0041】

なお、運動状態計測部20においては、慣性センサ207を省略することができ、この場合、搬送波位相を用いて加速度を算出すればよい。一方、運動状態計測部20において、アンテナ201、202、203、受信部204、205、206を省略し、慣性センサ207に加速度センサとともに姿勢センサを備えてもよい。また、慣性センサ207に角速度センサを備え、角速度センサの出力と搬送波位相による角速度とを用いて、負荷観測用姿勢の抽出元になる姿勢を算出してもよい。

40

【0042】

次に、負荷観測用加速度および負荷観測用姿勢を抽出するためのスラミングおよびホイッピングの観測方法について説明する。図3（B）に示すように、スラミングは、船体100に波浪が衝突する際に生じる衝撃である。図3（B）に示すように、ホイッピングは、スラミングによって船体100に生じる振動である。

【0043】

概略的には、抽出部30は、複数の観測時刻の加速度を用いて、スラミングを観測する。また、抽出部30は、複数の観測時刻の加速度または姿勢の変化（角速度）を用いて、ホイッピングを観測する。そして、抽出部30は、これらスラミングやホイッピングの発

50

生タイミングを検出する。すなわち、抽出部30は、船体の負荷の要因となる現象の発生タイミングを検出する検出部としても機能する。

【0044】

図7は、スラミングを観測するフローのフローチャートである。

【0045】

まず、抽出部30は、複数の観測時刻の加速度をバッファリングする(S211)。なお、この際、抽出部30は、加速度とともに姿勢もバッファリングする。抽出部30は、各観測時刻の加速度に含まれるZ軸加速度 a_z を取得する(S212)。Z軸加速度 a_z とは、船体座標系における鉛直方向の加速度である。

【0046】

抽出部30は、Z軸加速度 a_z をハイパスフィルタ(HPF)処理する(S213)。スラミングによるZ軸加速度 a_z は、通常の波浪による定常的なZ軸加速度よりも高周波数になる。したがって、ハイパスフィルタ処理のスレッシュホールド周波数は、通常の波浪による定常的なZ軸加速度と、実験的、経験的、またはシミュレーションによって予め取得したスラミングによるZ軸加速度 a_z との間に設定されている。この処理を行うことによって、Z軸加速度に含まれる通常の波浪による定常的な成分は除去される。

【0047】

抽出部30は、HPF後加速度 a_{zf} と閾値 T_h とを比較する(S214)。閾値 T_h は、船体100に波浪が衝突してスラミングが発生すると判断できるZ軸加速度の下限値に設定されている。閾値 T_h は、実験的、経験的、または、シミュレーションによって決定した値であり、船体の運動状態に基づいて変化させてもよい。例えば、荒天時に閾値 T_h を上げたり、静止時に閾値 T_h を下げたりしてもよい。

【0048】

抽出部30は、HPF後加速度 a_{zf} が閾値 T_h 以上($a_{zf} \geq T_h$)であれば(S215: YES)、スラミングが発生したことを検出する(S216)。抽出部30は、スラミングの発生を検出すると、スラミング発生検出前の複数の観測時刻の加速度を保存する(S217)。この際、抽出部30は、加速度とともに姿勢も保存する。なお、スラミングの検出のみを行う場合には、ステップS217は省略できる。

【0049】

抽出部30は、スラミング発生タイミングでのHPF後加速度 a_{zf} を負荷観測用加速度とする。また、抽出部30は、このスラミング発生タイミングでの姿勢を負荷観測用姿勢とする。

【0050】

一方、データ処理部50は、HPF後加速度 a_{zf} が閾値 T_h 未満($a_{zf} < T_h$)であれば(S215: NO)、スラミングは発生していないと判定する。

【0051】

このような構成および処理を用いることによって、抽出部30は、スラミングを観測できる。この際、搬送波位相を用いた加速度を用いれば、抽出部30は、スラミングを高精度に観測でき、高精度な負荷観測用加速度を抽出できる。

【0052】

また、抽出部30は、HPF後加速度 a_{zf} を用いることによって、通常の船体100の揺れによる加速度と、スラミングの衝撃による加速度と、を正確に分離できる。これにより、抽出部30は、スラミングをより高精度に観測できる。

【0053】

図8(A)は、ホイッピングの推定の概略フローチャートである。図8(B)は、ホイッピングの推定の詳細フローチャートである。

【0054】

図8(A)に示すように、抽出部30は、スラミング発生前後の複数の観測時刻の姿勢を取得する(S301)。抽出部30は、複数の観測時刻の姿勢から姿勢の変化速度を算出する。抽出部30は、姿勢の変化速度の周波数解析を行う(S302)。周波数解析と

10

20

30

40

50

は、姿勢の変化速度の周波数スペクトルを算出する処理（例えば、FFT処理）である。抽出部30は、周波数スペクトルからホッピングの周波数とホッピングの強度とを推定する（S303）。

【0055】

より具体的には、図8（B）に示すように、抽出部30は、姿勢の変化速度の周波数スペクトルのピークを検出し、ピーク強度PSを検出する（S311）。抽出部30は、ピーク強度PSとホッピング検出閾値Thpとを比較する。ホッピング検出閾値Thpは、ホッピングが発生していると判断できるスペクトル強度の下限値に設定されている。ホッピング検出閾値Thpは、実験的、経験的、または、シミュレーションによって決定した値であり、船体の運動状態に基づいて変化させてもよい。例えば、荒天時にホッピング検出閾値Thpを上げたり、静止時にホッピング検出閾値Thpを下げたりしてもよい。

10

【0056】

抽出部30は、ピーク強度PSがホッピング検出閾値Thp以上（ $PS \geq Thp$ ）であれば（S312：YES）、ホッピングが発生したと判定する（S313）。そして、抽出部30は、このピーク強度PSを、ホッピングの強度に設定する。また、抽出部30は、ピーク強度PSとなる周波数を、ホッピングの周波数に設定する。一方、抽出部30は、ピーク強度PSがホッピング検出閾値Thp未満（ $PS < Thp$ ）であれば（S312：NO）、ホッピングは発生していないと判定する。

20

【0057】

抽出部30は、ホッピング発生タイミングでの姿勢を負荷観測用姿勢とする。また、抽出部30は、このホッピング発生タイミングでのHPF後加速度azfを負荷観測用加速度とする。

【0058】

ここで、上述のように、姿勢は、搬送波位相を用いて高精度に算出されている。したがって、このような構成および処理によって、抽出部30は、簡素な構成で、ホッピングの発生の判定を確実に正確にできる。また、抽出部30は、簡素な構成で、ホッピングの強度およびホッピングの周波数を、確実に正確に検出できる。これにより、負荷指標値および負荷を正確に算出できる。

30

【0059】

なお、上述の負荷の要因となる現象が生じた際の姿勢、姿勢の変化量、姿勢の変化速度は、角速度センサを用いた角速度から算出することができる。図9は、スラミングによる船体姿勢変化を、角速度を用いて算出するフローチャートである。

【0060】

抽出部30は、上述のようにスラミングの発生を検出し、スラミング発生前後の複数の観測時刻の角速度を取得する（S401）。抽出部30は、角速度をローパスフィルタ処理する（S402）。角速度には、各種のノイズが含まれており、通常、ノイズの周波数は、スラミングに起因する角速度の周波数よりも高い。したがって、角速度をローパスフィルタ処理することによって、ノイズが除去される。

40

【0061】

抽出部30は、この角速度を用いて、スラミング発生前後の所定時間内の姿勢を算出する（S403）。なお、これらの所定時間は、適宜設定すればよく、スラミング発生前の場合とスラミング発生後の場合とで異なってもよい。

【0062】

抽出部30は、スラミング発生前の姿勢とスラミング発生後の姿勢との差を用いて、姿勢変化量を算出する（S404）。または、抽出部30は、スラミング発生前の姿勢とスラミング発生後の姿勢との時間変化量を用いて、姿勢変化速度を算出する（S404）。

【0063】

なお、上述の処理では、加速度または姿勢の変化量を用いている負荷を算出している。しかしながら、加速度の変化方向、姿勢の変化方向を用いることで、負荷の一要素となり

50

得る船体100の特定箇所の変位の方向を抽出できる。例えば、船首101等の船体100の特定箇所のZ軸方向の変位の方向を抽出できる。これにより、スラミングによって、船首101等の特定箇所が下がったか、船首101等の特定箇所が上がったか、すなわち、海水の打ち込み状態を検出できる。

【0064】

上述の構成では、運動状態計測部20に、3個のアンテナ201、202、203、受信部204、205、206を備える態様を示した。しかしながら、慣性センサとして加速度センサを備えていることで、運動状態計測部20は、2個のアンテナと2個の受信部とを少なくとも備えていればよい。

【0065】

次に、本発明の第2の実施形態に係る船体負荷観測装置について、図を参照して説明する。図10は、本発明の第2の実施形態に係る船体負荷観測装置のブロック図である。図11(A)は、本発明の第2の実施形態に係る船体負荷観測装置が装備される船舶の平面図である。図11(B)は、本発明の第2の実施形態に係る船体負荷観測装置が装備される船舶の側面図である。

【0066】

図10、図11(A)、図12(B)に示すように、本実施形態に係る船体負荷観測装置10Aは、運動状態計測部20A、20B、20C、20Dを備え、これらがデータ処理部50Aに接続する点において、第1の実施形態に係る船体負荷観測装置10と異なる。

【0067】

運動状態計測部20A、20B、20C、20Dは、船体100における異なる位置に配置されている。言い換えれば、加速度計測部21と姿勢計測部22との組は複数であり、これら加速度計測部21と姿勢計測部22とは、組毎に船体の100における異なる位置に配置されている。

【0068】

運動状態計測部20A、20B、20C、20Dは、同じ構成である。図11(A)、図11(B)に示すように、運動状態計測部20A、20B、20C、20Dは、船体100に設置されている。運動状態計測部20Aは、船体100の船首101に設置されている。運動状態計測部20Bは、船首—船尾方向(船体座標系のX軸方向)における船体100の途中の箇所に設置されている。運動状態計測部20C、20Dは、船体100の船尾102付近の操舵室110の上に設置されている。運動状態計測部20C、20Dは、それぞれ船体100の右舷付近または左舷付近に設置されている。運動状態計測部20C、20Dは、これらの運動状態計測部20C、20Dを結ぶ基線が右舷—左舷方向(船体座標系のY軸方向)に並行になるように、配置されている。

【0069】

データ処理部50Aは、運動状態計測部20A、20B、20C、20Dのそれぞれの設置位置に対して、上述の第1の実施形態に示した負荷の観測(スラミングの検出、ホイッピングの発生の検出等)と同様の負荷の観測を行う。これにより、船体負荷観測装置10は、船体100の複数位置のそれぞれにおいて個別に負荷を観測できる。そして、これらの複数の位置の負荷は、測位信号から復調できる測位システムの時刻によって高精度に同期できる。これにより、船体100の複数の位置で同時刻に生じる負荷を観測できる。

【0070】

運動状態計測部20A、20B、20C、20Dの配置は、これに限らず、全ての運動状態計測部20A、20B、20C、20Dが一直線上に並ぶ配置でないことが好ましい。これにより、運動状態計測部20A、20B、20C、20Dに備えられるアンテナが1個であっても、複数の基線ベクトルを設定でき、負荷の観測に利用できる。言い換えれば、運動状態計測部20A、20B、20C、20Dに1個のアンテナがあれば、複数の基線ベクトルを設定でき、搬送波位相を用いた負荷の観測に利用できる。

【0071】

具体的な一例として図11(A)に示す構成では、運動状態計測部20Bは、運動状態計測部20Aと運動状態計測部20Cとを結ぶ基線上、運動状態計測部20Aと運動状態計測部20Dとを結ぶ基線上、および、運動状態計測部20Cと運動状態計測部20Dとを結ぶ基線上のいずれにもない位置に配置されている。これにより、互いに平行でない基線ベクトルの個数を、運動状態計測部の個数の制限範囲内において、できる限り多くできる。さらには、運動状態計測部20A、20B、20C、20Dは、広範囲に亘るように、すなわち、各運動状態計測部を結ぶ基線ベクトルの長さが長くなるように配置することが好ましい。これにより、基線ベクトルの算出精度が向上し、姿勢の算出精度、ひいては負荷の算出精度が向上する。

【0072】

10

また、測位システムの時刻を用いた同期が可能であることによって、データ処理部50Aは、次に示すような負荷の要因を観測できる。観測される負荷の要因としては、例えば、波の衝突到来方向推定、ホイッピングの伝搬特性の推定等である。

【0073】

図12は、スラミングの起因となる波の到来方向を推定するフローチャートである。

【0074】

データ処理部50Aは、運動状態計測部20A、20B、20C、20Dから出力されたスラミング発生後の複数の観測時刻の加速度を取得する(S501)。

【0075】

データ処理部50Aは、加速度毎に負荷観測用加速度を抽出する。データ処理部50Aは、運動状態計測部20A、20B、20C、20Dの加速度(負荷観測用加速度)を同期させる。加速度(負荷観測用加速度)の同期は、加速度(負荷観測用加速度)とともに取得する観測時刻によって実行される。観測時刻は、測位システムの時刻を用いているので、観測時刻の同期は高精度に行われる。

20

【0076】

データ処理部50Aは、同一時刻における運動状態計測部20A、20B、20C、20Dの加速度(負荷観測用加速度)の最大加速度を検出する(S502)。

【0077】

データ処理部50Aは、最大加速度を観測した運動状態計測部の船体100に対する位置を、スラミングの起因となる波浪の到来方向として推定する(S503)。

30

【0078】

そして、上述のように、各観測時刻の加速度は、高精度に算出されており、各運動状態計測部の加速度は、高精度な観測時刻で同期されているので、各運動状態計測部の加速度から算出される最大加速度も高精度に検出される。したがって、この構成および処理を用いることによって、船体負荷観測装置10Aは、簡素な構成で、スラミングの起因となる波浪の到来方向を、确实且つ正確に検出でき、ひいては、負荷を正確に観測できる。

【0079】

また、高精度な観測時刻に基づいて、加速度を同期できるので、大規模な工事を必要とせず、安価な構成で、スラミングの起因となる波浪の到来方向を検出できる。

【0080】

40

図13は、ホイッピング伝搬特性を推定するフローチャートである。

【0081】

データ処理部50Aは、運動状態計測部20A、20B、20C、20D毎に、上述の方法を用いて、ホイッピングを検出する(S601)。この際、データ処理部50Aは、ホイッピングの強度(振幅)、周波数を含むホイッピング検出データも検出する。データ処理部50Aは、これらホイッピングの強度(振幅)、周波数の検出時刻を、観測時刻に基づいて設定し、ホイッピング検出データに含ませる。

【0082】

データ処理部50Aは、運動状態計測部20A、20B、20C、20Dのホイッピング検出データを同期させ、ホイッピング伝搬特性を推定する。すなわち、データ処理部50

50

0 Aは、運動状態計測部20 A、20 B、20 C、20 Dの加速度の振幅特性または周波数特性、もしくは、姿勢の変化量（変化速度）の振幅特性または周波数特性を用いて、ホイッピング伝搬特性を推定する。具体的には、データ処理部50 Aは、ホイッピングとして検出した周波数成分に対する運動状態計測部20 A、20 B、20 C、20 Dの検出時刻の差、すなわち時系列によって、ホイッピングの伝搬方向を推定する。また、データ処理部50 Aは、運動状態計測部20 A、20 B、20 C、20 Dのそれぞれで検出されたホイッピングの強度から、伝搬によるホイッピングの減衰特性等を推定する。これにより、データ処理部50 Aは、船体100の所望位置でのホイッピングの強度を推定できる。したがって、船体負荷観測装置10 Aは、このホイッピング伝搬特性を用いて、船体100の任意の位置での負荷を推定して観測できる。

10

【0083】

また、高精度な観測時刻に基づいて、加速度を同期できるので、大規模な工事を必要とせず、安価な構成で、ホイッピング伝搬特性を推定できる。

【0084】

上述の船体負荷観測装置10、10 Aは、次に示す航行支援システムに適用することができる。図14は、本発明の実施形態に係る船体負荷観測装置が適用される航行支援システムのブロック図である。

【0085】

図14に示すように、航行支援システム80は、船体負荷観測装置10 A、支援部70、船速取得部61、舵角取得部62、および、海況取得部63を備える。船体負荷観測装置10 A、船速取得部61、舵角取得部62、および、海況取得部63は、支援部70に接続されている。

20

【0086】

船速取得部61は、運動状態計測部20 A、20 B、20 C、20 Dのいずれかの加速度から速度を算出することで、船速を取得する。または、船速取得部61には、船体100に取り付けられたドップラーソナーが接続されており、ドップラーソナーの出力値から既知の方法で船速を取得する。

【0087】

舵角取得部62は、船体100に取り付けられた舵角センサに接続されており、舵角センサの出力値から既知の方法で舵角を取得する。

30

【0088】

海況取得部63は、船体100に取り付けられた波浪レーダーに接続されており、波浪レーダーの出力値から既知の方法で海況を取得する。また、海況取得部63は、無線通信機能を有し、外部から海況を取得する。

【0089】

支援部70は、船体負荷観測装置10 Aからの負荷に関する情報、船速取得部61からの船速、舵角取得部62からの舵角、海況取得部63からの海況を用いて、負荷の発生を回避する航行支援情報を生成する。具体的には、航行支援情報は、負荷となり得るスラミングを回避するための船速制御および舵角制御を含む情報である。

【0090】

このような構成および処理を行うことによって、負荷を軽減させる航行支援を行うことができる。

40

【0091】

なお、図14では、船体負荷観測装置10 Aを用いる態様を示したが、船体負荷観測装置10を用いることも可能である。

【0092】

また、上述の船体負荷観測装置では、負荷の要因となる現象としてスラミングまたはホイッピングを主として検出する場合を示したが、船体負荷観測装置10 Aの構成を用いることによって、船体のサギング、ホギングを検出することも可能である。

【符号の説明】

50

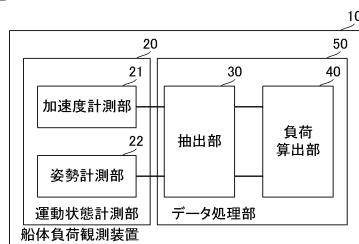
【0093】

10、10A：船体負荷観測装置
 20、20A、20B、20C、20D：運動状態計測部
 21：加速度計測部
 22：姿勢計測部
 30：抽出部
 40：負荷算出部
 50、50A：データ処理部
 61：船速取得部
 62：舵角取得部
 63：海況取得部
 70：支援部
 80：航行支援システム
 100：船体
 101：船首
 102：船尾
 110：操舵室
 201、202、203：アンテナ
 204、205、206：受信部
 207：慣性センサ
 208：演算部

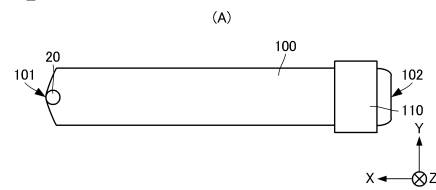
10

20

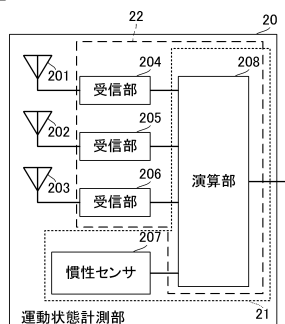
【図1】



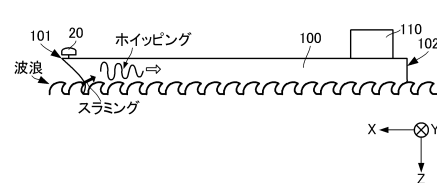
【図3】



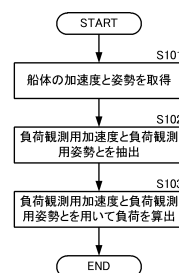
【図2】



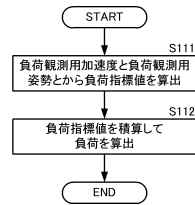
(B)



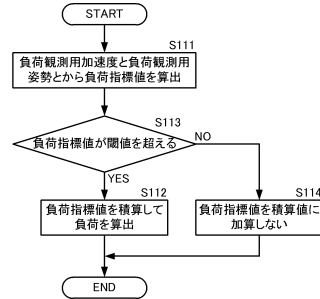
【図4】



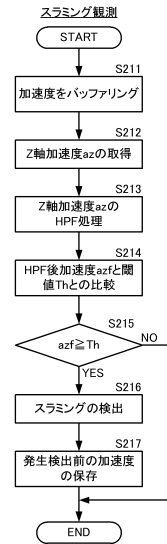
【図 5】



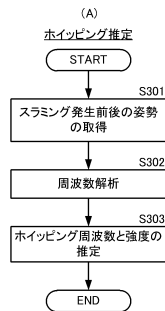
【図 6】



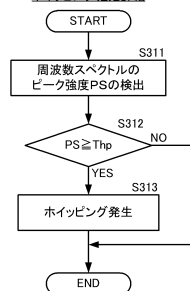
【図 7】



【図 8】



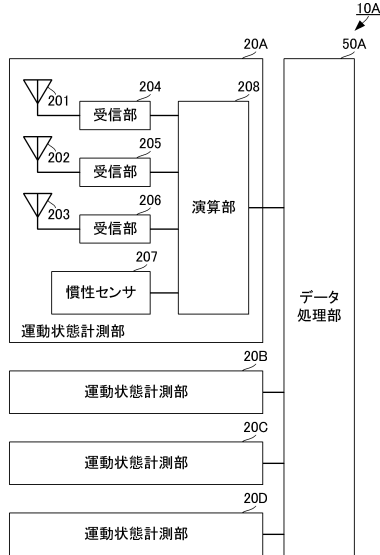
(B) ホイッピング推定詳細



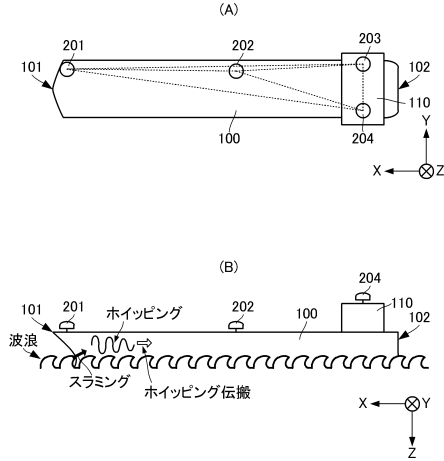
【図 9】



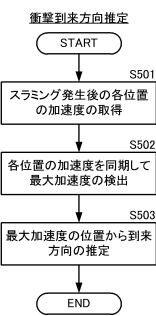
【図 10】



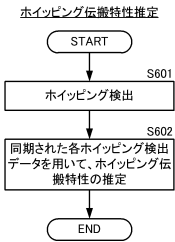
【図 11】



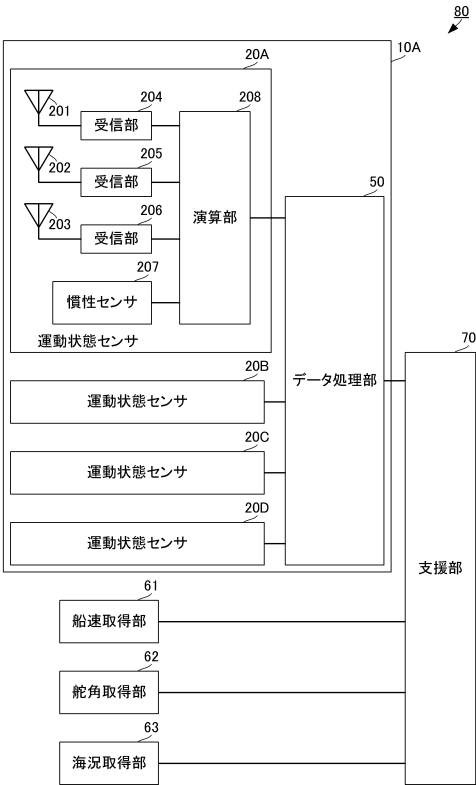
【図 12】



【図 13】



【図 14】



フロントページの続き

審査官 結城 健太郎

(56)参考文献 国際公開第2016/108183 (WO, A1)

特開2011-5888 (JP, A)

特開2012-51500 (JP, A)

谷澤克治, “ (6) 船舶技術研究所の船載型安全運航支援システム ”, 日本造船学会誌, 日本, 日本造船学会, 1988年 3月, 第705号, p.173-176, ISSN:2433-1007(online), 0386-1597(print)

鈴木克幸, 岡田竜大, 柳沢大地, “ 加速度計を用いたホッピングの計測 ”, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 日本, 日本船舶海洋工学会, 2015年, 第20号, p.473-474, ISSN:2424-1628

小岩敏郎, 石橋公也, 湯浅通史, “ 船体監視システム研究のこれまでの成果とその規則化へむけて ”, 日本, 財団法人日本海事協会, 2000年, 平成12年度ClassNK研究発表会

竹本博安, 橋爪豊, 岡修二, “ 波浪衝撃荷重と船体の応答に関する実船計測 (第1報) ”, 日本造船学会論文集, 日本, 日本造船学会, 1985年, 第158号, p.256-269, ISSN:1884-2070(online), 0514-8499(print)

B. PHELPS, B. MORRIS, “ Review of Hull Structural Monitoring Systems for Navy Ships ”, AU, Defence Science and Technology Organisation, 2013年 5月

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B63B 79/00, 43/00, 43/20, 49/00,

G01S 19/54